

# 设备电磁兼容性故障的诊断 和一般性处理意见

## 钱振宇

# 1 对电磁兼容的故障分析和判断方法简述

## 1.1 故障诊断的方法

电磁兼容性的故障除了部分出现器件或部件损坏外，大部分故障是软故障，就是重新通电之后，故障现象也就消失了。

诊断故障的基本思路就是断定是否为电磁兼容性故障。有时电磁兼容性故障与可靠性故障并存，最典型的便是瞬态电磁脉冲冲击引起的元器件损坏，这种现象比较普遍，表面上是可靠性问题，实质上是电磁兼容问题。

对故障处理的一般要求是故障的准确定位，这是发现故障的根本；其次是故障机理分析，只有彻底了解了故障机理，才能完全解决故障问题。

电磁兼容性故障除了采用分析和试探外，可以充分利用检测手段，特别是利用电磁兼容性测试仪器、频谱仪和宽带示波器等。但一般来说，分析和综合是解决电磁兼容故障更为有效的手段。

## 1.2 常用的故障定位方法有：

### 清除故障确认法

在已经确认干扰现象的条件下，逐步撤去部分设备（即让部分设备不加电，退出工作），并观察干扰部位的波形。如果撤去设备后，干扰现象消除，并且波形也发生变化，则说明干扰可能就来自撤出的设备。然后比较两种波形，可以发现多出的波形可能就是干扰信号。

### 改变状态确认法

改变状态确认法有两种方法，一种是用相近的设备进行替代（这两种设备的技术性能有所不同）；另一种是改变工作方式，如由工作模式1改为工作模式2，如果故障得到消除，则干扰信号就可能存在于这两种模式工作的差别中。

## 直接监测法

用探测设备直接测量设备工作的波形。当发现异常的波形信号时，则可以确认干扰信号的存在。

只是这种干扰确认法比较复杂，经常要将干扰的探测与分析结合在一起。

## 试探法

该方法是在发现故障后，但无法确定干扰源的复杂情况下使用。假定干扰源来自若干设备，还假定干扰的传播途径，并对干扰源和传播途径进行工程上的整改，然后再行联机试验，若故障消除或得到改善，说明试探法是取得效果的，在经过多次后，故障可能完全消除。这种方法有较大随意性，有时效率也不高，但对某些电磁干扰，如降低传输线干扰电平是行之有效的方法。

## 2 产品电磁兼容试验中的故障诊断与处理意见

本讲讲述在电磁兼容测试中可能遇到的一些故障情况及一般性的处理意见。根据试验的项目不同，本讲中涉及到的内容包括：设备自身工作时的辐射骚扰发射及传导发射超标；设备的抗扰度性能不合格（如静电放电、射频辐射电磁场、电快速瞬变脉冲群、雷击浪涌、以及由射频场感应所引起的射频电流注入）等等。

## 2.1 辐射发射超标

设备的辐射骚扰发射超标有两种可能，一种是设备外壳的屏蔽性能不完善；另一种是射频骚扰经由电源线和其他线缆的逸出。判断方法是，拔掉不必要的电线和电源插头，继续做试验，如果没有任何改善迹象，则应当怀疑是设备外壳屏蔽性能不完善；如果有所改善，则有可能是线缆的问题。如果针对以上两种可能，采取了必要措施，仍然没有任何改进，则有可能是设备上余下线缆的问题。

## 2.1.1 金属机箱屏蔽性能不完善

机箱的缝隙过大，或机箱配合上存在问题

处理意见：

清除结合面上的油漆、氧化层及表面沾污；

增加结合面上的紧固件数目及接触表面的平整度；

采取永久性的接缝（要连续焊接）；

采用导电衬垫来改善接触表面的接触性能。

## 其他功能性开孔过大

处理意见：

通风口采用防尘板，必要时采用波导通风板，但后者成本昂贵；

显示窗口采用带有屏蔽作用的透明材料；或采用隔舱，并对信号线采取滤波；

对键盘等采用隔舱，并对信号线采取滤波。

机箱内部布线不当，电磁骚扰透过缝隙逸出

处理意见：将印刷板及设备内部布线等可能产生辐射骚扰的布局远离缝隙或功能性开孔的部位，或采取增加屏蔽的补救措施或重新布局。

## 2.1.2 非金属机箱

对机箱进行导电性喷涂，特别要注意在结合部分的缝隙也要进行喷涂，保证机箱有导电性的连接；

对产生辐射骚扰和可能产生辐射骚扰的部分采取局部屏蔽，并将所有进入或离开屏蔽体的导线要进行滤波或套上吸收磁环；

对内部布线和印刷线路板的布局重新考虑，尽可能使信号及其回线的环路为最小。

## 2.1.3 线缆问题（包括怀疑是设备上余下线缆的问题在内）

### 对电源线的处理

加装电源线滤波器（如果已经有滤波器，则换用高性能的滤波器），要特别注意安装位置（尽可能放在机箱中电源线入口端）和安装情况，要保证滤波器外壳与机箱搭接良好、接地良好；

如果不合格的频率比较高，可考虑在电源线入口的部分套装铁氧体磁环。

### 对信号线的处理

在信号线上套铁氧体磁环（或铁氧体磁夹）；

对信号线滤波（共模滤波）；必要时将连接器改用滤波阵列板或滤波连接器；

换用屏蔽电缆。屏蔽电缆的屏蔽层与机箱尽量采用360°搭接方式，必要时在屏蔽线上再套铁氧体磁环。

## 2.2 传导发射超标

设备的传导骚扰发射超标，主要是线缆方面的问题，但超标的频率通常都比较低，处理起来常感麻烦。

### 对电源线的处理

检查电源线附近有无信号电缆存在，有无可能是因为信号电缆与电源线之间的耦合使电源线的传导骚扰发射超标（这种情况多见于超标频率的频段较高的情况下）。如有，或拉大两者间的距离，或采用屏蔽措施；

加装电源线滤波器（如果已经有滤波器，则换用高性能的滤波器），要特别注意安装位置（尽可能放在机箱中电源线入口端）和安装情况，要保证滤波器外壳与机箱搭接良好、接地良好；

虽经采取措施，设备传导骚扰发射仍未达标（特别是在低频段没有达标）。此时可考虑在设备内部线路连接接地端子的地方串入一个电感。由于这部分连接属单点接地，平时无电流流过，因此这个电感可以做得很大，而无须担心有铁芯的饱和问题。采取这一措施的理由是，设备传导骚扰发射测试，实际上是共模电压测试（电源线对大地的骚扰电压测试），电源线上有工作电流流过，故滤波器的滤波电感值受制于工作电流，不能做得很大，滤波器的插入损耗也就有限，特别是低频端的损耗更加有限。新方案里的附加电感正好可以弥补这一缺憾，从而取得更好的传导骚扰的抑制能力。

## 对信号线的处理

注意信号线周围有无其他辐射能量（附近的布线及印刷板的布局）被引到信号线上。如有，或拉大两者的距离，或采用屏蔽措施，或考虑改变设备内部布局和印刷板的布局；

在信号线上套铁氧体磁环（或铁氧体磁夹）；

对信号线进行共模滤波，必要时采用滤波连接器（或滤波阵列板）。注意滤波器的参数，传导骚扰发射超标的频率比辐射骚扰发射超标的频率得低些，因此取用的元件参数应当偏大一些。

## 2.3 抗静电干扰不合格

静电放电的抗扰度试验有直接放电和间接放电两种，直接放电是放电枪直接透过设备的表面对设备进行放电；间接放电则是放电枪对设备旁边的物体放电（在试验中用放电枪对设备旁边的水平和垂直耦合板的放电来模拟）。

### 3.3.1 直接放电

因对象不同，可能有金属和非金属两种外壳。

#### 非金属机箱

非金属机箱的最大好处是外壳由绝缘材料制成，一般情况下是放不出电的，但如果设备内部布局过于靠近外壳的缝隙，或者表面材料绝缘强度不够，都有可能使该设备的抗静电干扰试验不合格。

可采取“躲”的措施。例如可在缝隙部分用绝缘板来加强隔离；或用楔口来增加放电路径。对有导电插口的部分，把插口做得深一点、缝细一点。总之，要通过结构设计的方法，不让静电放电试验在该设备上放出电来。

## 金属机箱

对金属机箱，静电放电试验肯定能在机箱表面放出电来，问题是怎样才能使放电对设备正常工作的影响变得最小。

十分明显，一台外壳导电性连接良好的设备，加上设备外壳有低阻抗的接地措施，静电放电电流将能在设备外壳上迅速得到排遣，这在一般情况下是不会对设备造成干扰的。

反之，在放电的最初几微秒里，由于放电电流波形中拥有丰富的\*\*高频谐波\*\*，如果机箱的导电连接欠佳，加上接地的低阻抗考虑不够时，还是可以在机箱表面建立一个\*\*高频电磁场\*\*，构成对设备内部线路的一定干扰。

## 线缆及其他部分

按标准规定，设备正常工作期间，凡操作人员可以触摸到的部位都属于应该进行静电放电试验的部位。这样看来，除了设备外壳，对设备表面的显示部分以及电源线和I/O线等部位也属于应该放电试验的部位。

对显示屏，应考虑采用透明屏蔽材料进行保护，关键是让屏蔽材料与设备外壳间保证有致密的电接触。

对电源线、I/O线，采用屏蔽、滤波（共模滤波）及套用铁氧体磁环（或铁氧体磁夹，根据导线的形状决定铁氧体的形状）等措施。其中，对I/O线还可采用瞬变电压吸收二极管来吸收，及采用光电隔离器来隔离等措施。

## 2.3.2 间接放电

间接放电主要是通过由放电产生的电磁场来影响设备的工作。因此，对于外壳有屏蔽作用的设备肯定比不屏蔽的要好。另外，即使外壳不屏蔽也不等于该设备一定会在外界电磁场的作用下出现误动作，这主要看该设备的布线和印刷板布局对电磁场的敏感情况，以及敏感部位与放电板（指试验用的垂直和水平耦合板）的相对距离。

对于非金属机箱的设备，还可以考虑通过外壳的导电性喷涂来达到屏蔽的目的。

## 2.4 抗射频辐射电磁场干扰不合格

按标准要求，抗射频辐射电磁场干扰试验主要是针对设备表面来进行的。事实上，设备的电源线和I/O线也同时暴露在射频辐射电磁场的下面，故电源线和I/O线也有可能充当被动天线，而将干扰引入设备内部，导致设备误动作。

对于设备抗辐射电磁场干扰不合格的处理意见与设备的辐射骚扰发射超标的处理意见是相似的，只是电磁场的走向不一样，前者是外界干扰影响内部线路工作；后者是内部骚扰逸出设备，造成辐射骚扰发射的超标。

## 2.5 抗脉冲群干扰不合格

从脉冲群试验的本意来说，主要是进行共模干扰试验，只是干扰脉冲的波形前沿非常陡峭，持续时间非常短暂，因此含有极其丰富的高频成分，这就导致在干扰波形的传输过程中，会有一部分干扰从传输的线缆中逸出，这样设备最终受到的是传导和辐射的复合干扰。

针对脉冲群干扰，主要采用滤波（电源线和信号线的滤波）及吸收（用铁氧体磁芯来吸收）。采用铁氧体磁芯吸收的方案非常便宜也非常有效，但要注意做试验时铁氧体磁芯的摆放位置，就是今后要使用铁氧体磁芯的位置，千万不要随意更改，因为我们一再强调脉冲群干扰不仅仅是一个传导干扰，更麻烦的是它还含有辐射的成分，不同的安装位置，辐射干扰的逸出情况各不相同，难以捉摸。一般将铁氧体磁芯用在干扰的源头和设备的入口处为最有效。

## 2.6 抗浪涌干扰试验不合格

雷击浪涌试验的最大特点是能量特别大，所以采用普通滤波器和铁氧体磁芯来滤波、吸收的方案基本无效，必须使用气体放电管、压敏电阻、硅瞬变吸收二极管和半导体放电管等专门的浪涌吸收器件才行。

雷击浪涌试验有共模和差模两种，因此浪涌吸收器件的使用要考虑到与试验的对应情况。为显现使用效果，浪涌吸收器件要用在进线入口处。由于浪涌吸收过程中的 $di/dt$ 特别大，在器件附近不能有信号线和电源线经过，以防止因电磁耦合将干扰引入信号和电源线路。此外，浪涌吸收器件的引脚要短；吸收器件的吸收容量要与浪涌电压和电流的试验等级相匹配。

最后，采用组合式保护方案将能发挥不同保护器件的各自特点，从而取得最好的保护效果。

## 2.7 由射频场感应所引起的传导干扰抗扰度试验不合格

从试验方式看，由射频场感应所引起的传导干扰抗扰度试验是共模试验，在经过前述几项试验（特别是静电放电、射频辐射电磁场和脉冲群试验）后，一般应无大碍，万一有问题，主要是通过对滤波的加强，及改善设备内部的布线和布局来得到解决。

关于“传导发射超标”一节中的不少内容，在这里也是适用的，只是电磁干扰的走向不一致。